

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування»

на тему: «Вимірювач параметрів феромагнітних матеріалів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-51

Мілютін Владислав Сергійович _____

Керівник:

к.т.н доцент

Баженов В.Г. _____

Консультант з розділу «Графічний»

старший викладач

Богдан Г.А. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ПК 510700. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	52	
3	A2	ПК 510700. 01.000 Е1	Схема електрична функціональна	1	
4	A2	ПК 510700. 02.000 Е2	Схема електрична структурна	1	
5	A1	ПК 510700. 03.000 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
6	A2	ПК 510700. 06.000 ТК	Алгоритм роботи	1	
7	A1	ПК 510700. 07.000 Е5	Плата монтажна	1	

				ПК 510700 00.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Мілютін В.С.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Баженов В.Г.				1	1
Консульт.	Богдан Г.А				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-51	
Н/контр.	Лашко О.В.					
Зав.каф.	Протасов А.Г.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Вимірювач параметрів феромагнітних
матеріалів»**

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051003
«Приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мілютін Владислав Сергійович

1. Тема проекту «Вимірювач параметрів феромагнітних матеріалів», керівник проекту Баженов Віктор Григорович, к.т.н, затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2019

3. Вихідні дані до проекту: метод контролю вихрострум; гармоніки вихідного сигналу – 5, 7, 9; тип перетворювача – параметричний; кількість котушок – одна;

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Розрахунок

3. Підбір компонентів

4. Експериментальні дані

5. Розробка плати для пристрою

Висновок

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 5 креслеників

1 – Схема електрична принципова

- 2 – Схема електрична функціональна
- 3 –Схема електрична принципіальна
- 4 – Корпус
- 5 – Кришка
- 6 – Блок-схема
- 7 – Плата монтажна

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	старший викладач Богдан Г.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2019	
2	Проведення аналітичного огляду	10.04.2019	
3	Розрахунок компонентів	25.04.2019	
4	Розробка експериментальної моделі	15.05.2019	
5	Розробка креслеників	12.06.2019	

Студент

Мілютін В.С.

Керівник проекту

Баженов В.Г.

Анотація

Даний дипломний проект складається з 56 сторінок, 24 ілюстрацій, 5 формул, 12 літературних джерел.

Ключові слова: вихрострумний контроль, параметричний перетворювач, цифрова обробка сигналу, метод вищих гармонік

В дипломному проекті було проведено дослідження різних методів контролю феромагнітних матеріалів.

Складено структурну та функціональну схеми. На основі креслеників було також розроблено принципіальну схему та друковану плату приладу. На основі виконаних розрахунків була змодельована система в ПЗ «Comsol Multiphysics».

В результаті дослідження було обрано метод вищих гармонік та складання експериментальної установки для подальших досліджень та розробки приладу.

Мета роботи полягає в дослідженні методів виміру параметрів феромагнетиків. Його розробка та складання документації до нього

Об'єкт дослідження – процес вихрострумової діагностики методом вищих гармонік

Предмет дослідження – методи виміру параметрів феромагнетиків

Наукова новизна – новітній метод отримання інформації про параметри феромагнітних матеріалів

Abstract

This diploma project consists of 56 pages, 24 illustrations, 5 formulas, 12 literary sources.

Key words: eddy current control, parametric converter, digital signal processing, method of higher harmonics

In the diploma project the research of different methods of control of ferromagnetic materials was conducted.

Structural and functional diagrams are made. Based on the drawings, a schematic diagram and printed circuit board were also developed. On the basis of the performed calculations, an experimental installation in the «Comsol Multiphysics» software was developed.

As a result of the study, the method of higher harmonics was selected and an experimental setup was prepared for further research and development of the device.

The **purpose of the work** is to study the methods of measuring the parameters of ferromagnets. Its development and drawing up of documentation for it

The **object of the study** is the process of eddy-current diagnostics by the method of higher harmonics

Subject of research - methods of measurement of parameters of ferromagnets

Scientific novelty - the newest method for obtaining information on the parameters of ferromagnetic materials

Скорочення та позначення

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВСП – вихрострумний перетворювач

МВГ – метод вищих гармонік

ОК – об'єкт контролю

ТНК – тепловий неруйнівний контроль

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

Зміст

Вступ	7
1. Аналітичний огляд.....	9
1.1 Огляд методів контролю	9
1.1.1 Магнітний контроль	9
1.1.1 Ультразвуковий контроль.....	18
1.1.3 Тепловий контроль	25
1.2 Класифікація і застосування вихрострумових перетворювачів	31
1.3 Висновок на основі аналітичного огляду	38
2 Складання технічного завдання	39
3 Розрахунок.....	40
3.1 Розрахунок перетворювача	40
3.2 Розрахунок АЦП	41
3.3 Розрахунок похибок	43
4. Підбір компонентів.....	44
5. Експериментальні дані	50
6. Розробка плати для пристрою	52
Висновок	54
Список використаних джерел.....	55

					ПК 510700. 00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата			
Розроб.	Мілютін В.С.				Вимірювач параметрів ферромагнітних матеріалів Пояснювальна записка	Лит.	Арк.
Перевір.						6	56
Реценз.						ПБФ	
Н. Кантр.							
Затверд.							

Вступ

Сучасний світ потребує багато різних способів аналізу сучасних приладів та їх деталей. Для вирішення цієї проблеми зазвичай використовують неруйнівний контроль.

Неруйнівний контроль зайняв нішу в різних галузях:

- Ядерна енергетика
- Аерокосмічна промисловість
- Будівництво
- Медицина
- Машинобудування

Основні методи неруйнівного контролю:

- Капілярний
- Ультразвуковий
- Магнітний
- Тепловий

Капілярний метод дозволяє виявляти зовнішні дефекти, які важко замітити неозброєним оком.

Ультразвукова діагностика має перевагу над капілярним, так як може виявити тріщини безпосередньо в самій деталі. Зазвичай використовують луно-імпульсний метод.

Магнітний метод зазвичай використовують для контролю виробів з феромагнітних матеріалів, так як його властивості значно змінюють свої властивості при дефектах.

Машини, літаки часто мають в собі деталі з феромагнітних матеріалів. Саме тому, контроль феромагнітних матеріалів є одною з ключових частин діагностики любого сучасного приладу, машини, літака.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Сучасні методи контролю потребують покращень на основі сучасних технологій. Зокрема порівнювання з відомими зразками, створення бази результатів на основі того чи іншого методу. Це може допомогти для спрощення створення та удосконалення відомих приладів.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

1. Аналітичний огляд

1.1 Огляд методів контролю

1.1.1 Магнітний контроль

Дефектом – називається люба невідповідність нормативній документації матеріалу або деталі. Дефекти поділяють на явні та скриті. Досить часто дефекти класифікують за місцем локалізації:[2]

- Поверхневі
- Під поверхневі
- Внутрішні

Суть магнітного контролю закладається в використанні магнітних властивостей матеріалів.

По методу отримання інформації, методи розділяють на:

- Магнітнопорошкову
- Індукційну
- Ферозондову
- Магнітнографічну

Магнітнопорошковий метод допомагає в знаходженні таких дефектів:

- Непровари
- Надриви
- Флокени

Основним параметром при магнітному контролі є електромагнітне поле – форма існування матерії за допомогою якої відбувається взаємодія між електрично зарядженими частинками. Електрично заряджені частини та магнітне поле має масу, енергію, електричний заряд, магнітний момент.

Електромагнітне поле може впливати на як на нерухомі так і на рухомі заряди. Основною характеристикою електромагнітного поля є вектор магнітної індукції (B). Який може бути розрахований як сила (F), з якою поле взаємодіє на заряд (q) зі швидкістю (V) (формула 1).

$$\vec{F} = q[\vec{V} * \vec{B}] \quad (1)$$

Де \vec{V} – вектор швидкості, \vec{B} – вектор магнітної індукції, \vec{F} - сила Лоренца.

Основні матеріали які контролюють за допомогою магнітного контролю:

- Феромагнетики
- Парамагнетики
- Діамагнетики

Феромагнетиками називаються матеріали в яких при температурі вище точки Кюрі. встановлюється стан мимовільної намагніченості. Характеристику можна побачити на рис. 1.1

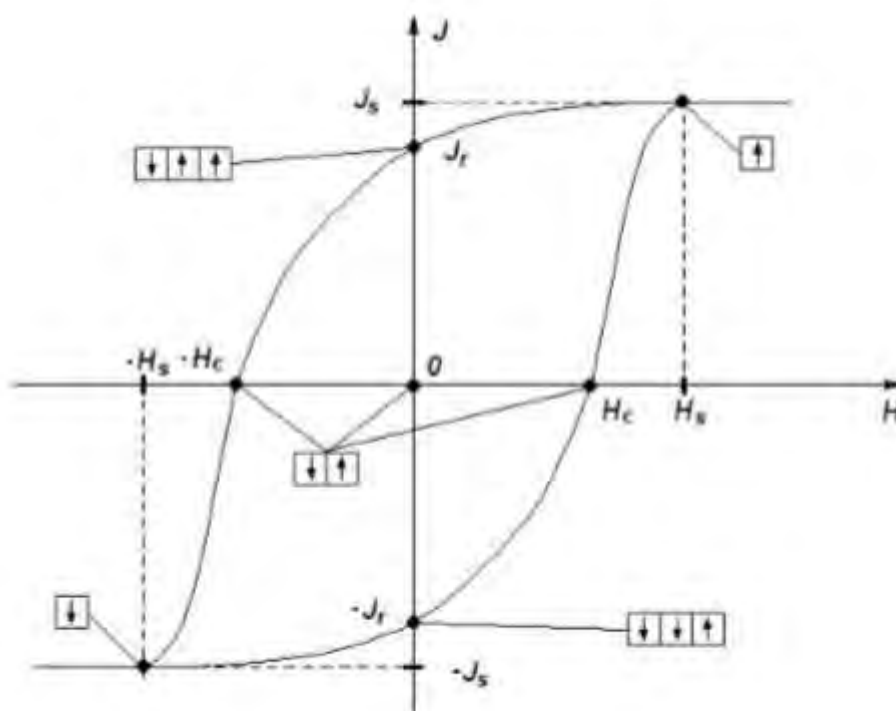


Рис 1.1 - Петля гістерізу ферромагнетика

Площа петлі при високих частотах збільшується. Таку петлю називають динамічною.

«Парамагнетики — речовини з невеликою позитивною магнітною сприйнятливістю, які у зовнішньому магнітному полі намагнічуються вздовж поля і дещо підсилюють його.» [8]

Діамагнетики — речовини, що намагнічуються проти напрямку зовнішнього магнітного поля.[12]

«За відсутності зовнішнього магнітного поля діамагнетики немагнітні. Під дією зовнішнього магнітного поля кожний атом діамагнетика набуває магнітного моменту, пропорційного магнітній індукції B , й напрямлений назустріч полю. Діамагнетики, які вносять у магнітне поле, послабляють це поле. Це ослаблення можна пояснити виникненням у діамагнетику внутрішнього магнітного поля, направленого проти зовнішнього магнітного поля.»[12]

Суть магнітного контролю полягає в зчитуванні інформації зміни магнітного поля в порівнянні з еталонним зразком.



Рис. 1.2 - Магнітне поле розсіювання над тріщиною

Магнітно-порошковий метод

Фізичною основою методу є Закон Біо-Савара-Лапласа – якщо по провіднику тече струм, то навколо нього створиться поле, знайти яке можна по силам які діють на інший провідник зі струмом. Так, якщо по двом паралельним провідникам струми I_1 і I_2 течуть в одному напрямку, то ці провідники будуть притягуватися, якщо в різних напрямках, то віддалятися.

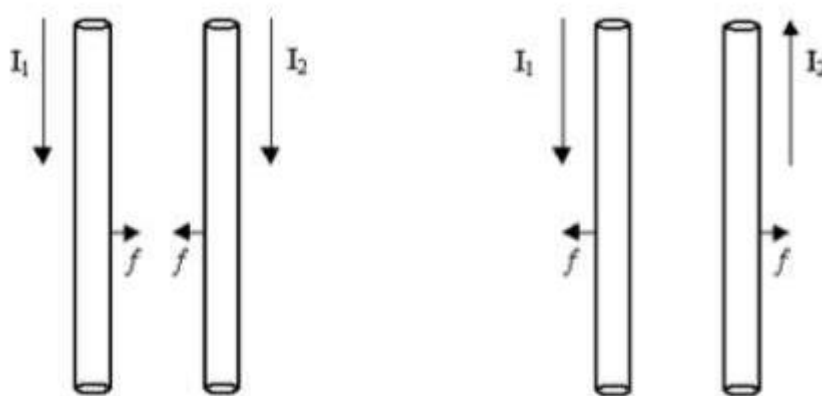


Рис. 1.3 - Зображення закону

Намагнічування тіл є обов'язковою частиною магнітного контролю, як правило використовують середні та сильні магнітні поля. Властивості сталі і його сплавів можуть змінюватися в широкому спектрі в залежності від структури, складу, величини і т.д.. Розрізняють феромагнітну та парамагнітну фази.

При внесенні феромагнетика в змінне магнітне поле, в ньому утворюються вихороструми, які в свою чергу створять своє магнітне поле.

Існують наступні методи намагнічування:

- Поліусне
- Циркулярне
- Комбіноване

Для намагнічування зазвичай використовують постійний, змінний та імпульсні струми.

Магнітопорошковий метод має наступні переваги:

- високу чутливість
- простоту контролю і можливість перевірки різних за формою і розмірами деталей на одному і тому ж дефектоскопі
- можливість контролю деталей, що знаходяться в конструкції

- порівняно високу продуктивність контролю.

Технологічні операції магнітопорошкового контролю проводяться в наступній послідовності:

1. підготовка деталі
2. намагнічування
3. нанесення на поверхню деталі індикатора (порошку або суспензії)
4. огляд деталі



Рис 1.4 - Портативний дефектоскоп

Індукційна дефектоскопія

В індукційній та ферозондовій дефектоскопії для перетворення напруженості поля розсіювання дефекту в електричний сигнал використовують індукції котушки та ферозонди. Індукційні перетворювачі поділяються на пасивні та вібруючі. Принцип дії пасивних перетворювачів базується на законі Фарадея (формула 2):

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -W \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Розміщення перетворювачів відносно ОК можна розділити на 4 основних:

1. Для тангенсійної складової поля

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

2. Для нормальної складової поля
3. Для градієнту тангенсійної складової в напрямку x
4. Для градієнту нормальної складової в напрямку x

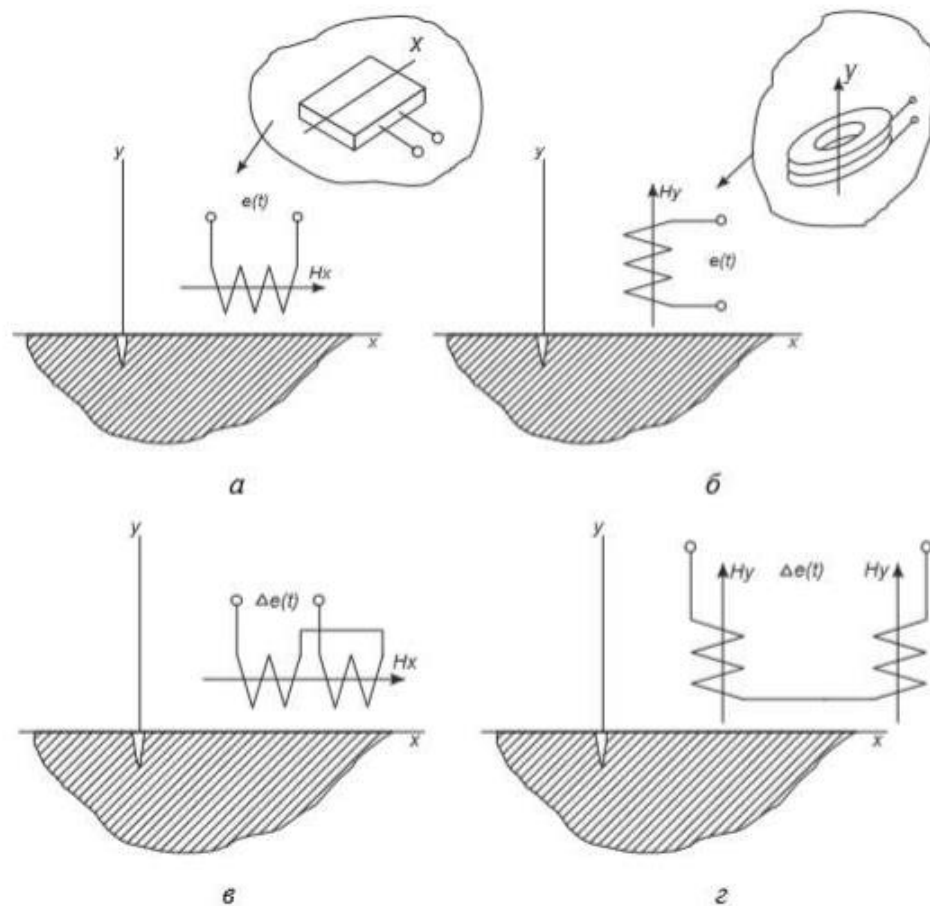


Рис. 1.5 - Конструкція і положення перетворювача відносно ОК:

- А) Для тангенсійної складової поля
- Б) Для нормальної складової поля
- В) Для градієнту тангенсійної складової в напрямку x
- Г) Для градієнту нормальної складової в напрямку x

Переваги:

- Метод дозволяє швидко провести діагностику
- Результати контролю з мінімальною похибкою
- Порівняно невисока вартість

- Висока чутливість

Переваги:

- Метод дозволяє швидко провести діагностику
- Результати контролю з мінімальною похибкою
- Порівняно невисока вартість
- Висока чутливість

Недоліки:

- Глибина дослідження до 2 мм
- Контроль може здійснюватися на певних матеріалах об'єкта
- Надійність обладнання середнє



Рис. 1.6 - Вихрострумовий дефектоскоп

Ферезондова дефектоскопія

Принцип дії ферезондових перетворювачів заснований на тому, що при одночасній дії на феромагнітний сердечник постійного і змінного полів направлених по осі сердечника, його перемагнічування буде відбуватися по несеміричній частині петлі гистерізу.

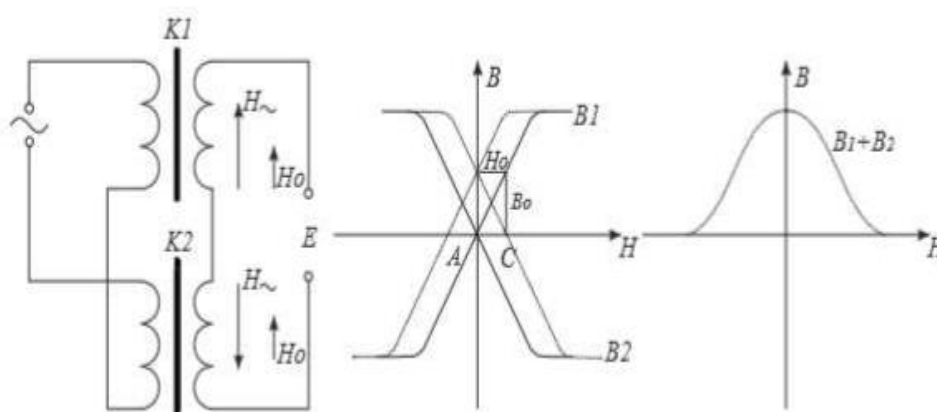


Рис. 1.7 - Принцип роботи ферезонда полімера

В ферезондових дефектоскопах часто використовують полімерні та градієнтметричні ферезонди. Основним недоліком є залежність результатів від неоднорідності матеріалу.

Переваги ферезондового методу:

- Володіє дуже високою чутливістю до магнітного поля
- Низька чутливість до забруднення деталей і до нанесеним лакофарбовим покриттям
- Ефективний для контролю ливарних і штампованих деталей з високою шорсткістю
- Виявляються поверхневі і підповерхневі дефекти на глибині 5 - 10 мм
- Можна застосовувати на виробах будь-яких розмірів і форм, якщо відхилення їх довжини до найбільшого розміру в поперечному напрямку і їх магнітні властивості дають можливість намагнічування до стінки, достатньою для створення магнітного

поля розсіювання дефекту, що виявляється за допомогою перетворювача

- Проведення контролю може бути повністю автоматизовано

Недоліки:

- Залежність результатів контролю від величини намагніченості контролюваного об'єкта
- Неможливість контролю деталей з малими геометричними розмірами, сумірними з розмірами ферозондового перетворювача
- Жорсткі технічні вимоги до направлення і кроку сканування деталі ферозондовим перетворювачем



Рис 1.8 - Ферозондовий дефектоскоп

Метод вищих гармонік

Метод вищих гармонік заснований на зв'язку глибини проникнення змінного магнітного поля зі структурно-чутливими характеристиками металу, а саме з електропровідністю і магнітною проникністю. Вихідним сигналом в МВГ є вторинна ЕРС.

Основною перевагою МВГ є те, що вищі гармоніки вторинної ЕДС пов'язані зі структурно-чутливими характеристиками металу ніж перша. Існуючі кореляційні зв'язки між механіко-технологічними властивостями і

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

фізичними виміряними, напр. Вміст вуглецю, магнітна твердість і механічна твердість відомі протягом тривалого часу. Вони є відправною точкою для розробки неруйнівних методів вимірювання феромагнітних матеріалів, таких як гармонічний або гармонійний аналіз сигналів вихрових струмів. У цьому непрямому електромагнітному тестовому методі, залежному від властивостей феромагнітного матеріалу, виміряні змінні визначаються і визначаються існуючими фізичними відносинами механо-технологічними властивостями матеріалу. Незважаючи на ці знання, однак, не існує загальноприйнятих теорій, які б всебічно описували взаємозв'язки між електромагнітними властивостями і мікроструктурною структурою матеріалів.

Внаслідок нелінійностей у петлі гістерезису в сигналі вимірювання індукуються фазо-зсунуті гармоніки та гармоніки випробної частоти, які характерно залежать від стану матеріалу. Змінюючи частоту випробувань, можна досягти зміни глибини проникнення в матеріалі і поділу інформації від основного матеріалу і площі поверхні. Використання багаточастотного випробування на вихровий струм призводить до великої кількості вимірних змінних, які істотно пов'язані зі специфічними властивостями матеріалу. Виходячи з цих принципів, можна винаходом систематично записувати взаємозв'язки між електромагнітними вимірюваними змінними і властивостями технологічного матеріалу з використанням відомих методів оцінки для зразків, які мають відомі характеристики матеріалу, і використовувати їх для калібрування вимірювальної систем. Хоча використання повітряних котушок призводить до більшого поля розсіювання і, отже, до погіршення зв'язку поля збудника в досліджуваному зразку, на результат вимірювання не впливають властивості матеріалів сердечників котушки, але виключно самим дослідним зразком.

1.1.1 Ультразвуковий контроль

Ультразвукова дефектоскопія - це високоефективний, надійний і перевірений метод неруйнівного контролю.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			18

Звукові хвилі (навколишні нас всюди) представляють собою організовані механічні вібрації, що переміщуються в середовищі (твердому тілі, рідині, газі). Це відноситься не тільки до ультразвуковим хвилям, використовуваним для ультразвукового контролю, а й до звуків, які ми чуємо щодня. Звукові хвилі передаються в середовищі з певною швидкістю в заданому напрямку. На межі розділу двох середовищ звукова хвиля відбивається або передається відповідно до простими правилами. Цей фізичний принцип лежить в основі ультразвукової дефектоскопії. Іншими словами, ультразвукові хвилі відбиваються від тріщин і інших несплошностей в об'єкті контролю; шляхом аналізу ехосигналів досвідчений оператор може ідентифікувати і локалізувати приховані внутрішні дефекти.

Коливання ультразвукової хвилі відбувається з певною частотою (числом коливань або циклів в секунду) в діапазоні схожому з діапазоном чутного звуку. Максимальна сприймається людським вухом частота - близько 20 000 коливань в секунду (20 КГц), тоді як більшість ультразвукових вимірювань проводиться в діапазоні частот від 500 000 до 10 000 000 коливань в секунду (від 500 КГц до 10 МГц). При частоті коливань в мегагерцовому діапазоні, звукова енергія практично не проходить через повітря та інші гази, але вільно передається в більшості рідин і звичайних конструкційних матеріалах (метал, пластмаса, кераміка і композити). Звукові хвилі в ультразвуковому діапазоні є більш спрямованими в порівнянні зі звуковими хвилями в чутному діапазоні, а також (через найменшої довжини хвилі) більш чутливими до відбивачам, яке трапляється на їхньому шляху.

Для звукових хвиль існує кілька режимів поширення, визначаються типом переміщення. У ультразвукової дефектоскопії найбільш часто використовуються поздовжні, поперечні і поверхневі хвилі.

Поздовжня хвиля (хвиля стиснення): характеризується переміщенням частинок паралельно фронту хвилі. Саме поздовжні хвилі сприймаються людським вухом. Поздовжні хвилі є найбільш швидкими хвилями,

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			19

використовуваними в УЗК, зі швидкістю приблизно 5900 м/с в стали. Поздовжні хвилі можуть перетворюватися в поперечні хвилі шляхом заломлення або відбиття.

Поперечна хвиля (хвиля зсуву): характеризується переміщенням частинок перпендикулярно напрямку поширення хвилі. Поперечні хвилі мають меншу швидкість поширення і меншу довжину хвилі в порівнянні з поздовжніми і використовуються для ультразвукового контролю похилим променем. Швидкість поперечної хвилі в стали становить приблизно 3 250 метрів в секунду. Поперечні хвилі можуть виникати і поширюватися тільки в твердих середовищах. Поперечні хвилі перетворюються в поздовжні хвилі шляхом заломлення або відбиття на границі розділу двох середовищ.

Поверхнева хвиля: в поверхневої хвилі або хвилі Релея частки переміщуються еліптично. Даний тип хвиль поширюється уздовж поверхні матеріалу, занурюючись на глибину рівну одній довжині хвилі. Швидкість поширення і довжина поверхневої хвилі аналогічні швидкості і довжині поперечної хвилі. Океанічні хвилі є прикладом поверхневих хвиль. Поверхневі хвилі можуть використовуватися для виявлення поверхневих тріщин у виробках.

Також, існують і інші режими поширення хвиль, але вони рідко використовуються в ультразвукової дефектоскопії. Серед них можна назвати хвилі Лемба і інші форми плоских і спрямованих хвиль; в даному посібнику вони не розглядаються.

Контроль п'єзоелектричним перетворювачем (ПЕП)

Тоді як техніка контролю прямим променем дозволяє виявити ламінарні дефекти, вона не настільки ефективна для контролю якості стандартних зварних з'єднань, де несплавлення і непровари не завжди орієнтовані паралельно поверхні об'єкта. Геометрія зварного шва, орієнтація дефектів і наявність верхівки зварного шва або наплавлення, - вимагають виконання контролю бічній частині шва за допомогою променя, що

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			20

генерується під кутом. Контроль похилим променем - сама використовувана техніка контролю в ультразвукової дефектоскопії.

Похилі ПЕП(рис. 1.9) складаються з перетворювачі і призми; перетворювач і призма можуть бути з'єднані і перебувати в одному корпусі, а можуть представляти роздільні компоненти. Типові похилі ПЕП використовують принцип відображення і хвильового перетворення на кордоні двох середовищ для генерації поперечної або поздовжньої хвилі в матеріалі, як показано на малюнку нижче.



Рис. 1.9 - Контроль похилим променем

Найбільш використовувані похилі перетворювачі генерують поперечну хвилю в матеріалі під кутом 45, 60 або 70 градусів. Кут падіння, необхідний для отримання бажаного кута введення, базується на швидкості звуку в матеріалі і розраховується за допомогою закону Снелліуса.

У разі використання пластикової або епоксидної призми, розташованої на поверхні виробу зі сталі, малі кути падіння будуть генерувати поздовжні і поперечні хвилі; існують спеціальні призми для похилих ПЕП, що генерують подовжні хвилі. Однак, при найбільш використовуваних кутах контролю генерується тільки первинна поперечна хвиля, оскільки значення поздовжньої хвилі в формулі перевищило б 90 градусів, що неможливо.

У типовому випадку контролю, ультразвуковий промінь під певним кутом проходить крізь матеріал об'єкта до протилежної стінки, а потім відбивається (прямує вгору) під тим же кутом. Переміщення перетворювача вперед і назад дозволяє виконати сканування по всій висоті зварного шва. Це скануючий рух гарантує контроль усього обсягу зварного шва і допомагає

виявити несущільності не тільки на лініях сплаву, а й усередині самого зварного шва.

Як і в разі контролю прямим променем, при скануванні похилим ПЕП, оператор виявляє і інтерпретує сигнали, відбиті від несущільності. Під час початкової настройки оператор повинен відзначити все луна-сигнали, що виходять від наплавленого металу або інших геометричних структур. Додаткові ехо-сигнали, що знаходяться в зоні зварного шва, будуть свідчити про непровар, наявності тріщин, пористості або інших несущільності. В ході подальшого аналізу можна визначити тип, розмір і глибину даних дефектів.

На представленому нижче прикладі, ультразвуковий промінь перетинає зону бездефектного зварного шва, без зворотного відображення; екран не відображає значних змін (аномалій). Наявність несущільностей в зоні зварного шва, викликає сильне відображення в інспектується

Методи визначення розмірів дефектів

Крива DAC (корекція амплітуда-відстань) (див. рис. 1.10) використовується для побудови графіка зміни амплітуди луна-сигналів від відбивачів однакового розміру, розташованих на різній відстані від перетворювача. Ці відбивачі генерують луна-сигнали, амплітуда яких в далекій зоні зазвичай зменшується з відстанню, через загасання і розсіювання променя у міру просування в об'єкті контролю. Крива DAC графічно робить поправку на загасання в матеріалі, ефекти ближнього поля і розсіювання променя. У налаштуванні DAC, амплітуда луна-сигналів, що виходять від відбивачів такого ж розміру як при калібрування, буде відповідати висоті кривої, незалежно від глибини або відстані. Відбивачі більше або менше відбивачів, які використовуються під час калібрування, генерують луна-сигнали відповідно вище або нижче кривої.

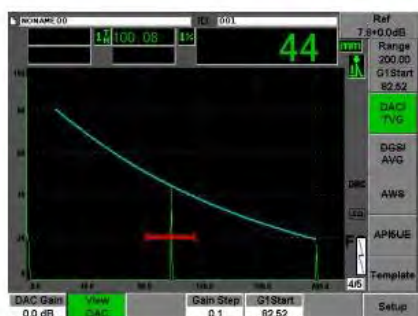


Рисунок 1.10 - Відображення кривих DAC та TRC

Зліва крива DAC, справа крива TRC

Тимчасова регулювання чутливості (ТРЧ) - аналогічна форма подання, з поправкою на ті ж акустичні фактори, що DAC. Замість побудови кривої на екрані із зображенням максимумів опорних відбивачів, які сходять при загасання звуку, ТРЧ збільшує коефіцієнт посилення в залежності від часу (довжини УЗ-шляху), для виведення всіх опорних ехосигналів на одну і ту ж висоту (зазвичай 80%). Важливо відзначити, що при відображенні ТРЧ, посилення приладу варіюється на екрані, навіть якщо вказано одне значення посилення. Більшість сучасних дефектоскопів дозволяють перемикатися між відображенням DAC і ТРЧ в одній конфігурації.

Криві DAC і TVG зазвичай конфігуруються з використанням серії опорних відбивачів заданого розміру, розташованих на різній глибині. Ці відбивачі вже включені в калібрувальні зразки відстані / амплітуди, або можуть бути створені оператором. Деякі прилади дозволяють генерувати профілі DAC / ТРЧ електронним способом, шляхом прямого введення коефіцієнта посилення в залежності від відстані.

На прикладі вище, синя крива DAC (ліворуч) представляє графік амплітуди донних відбивачів на відстані між 20 мм і 200 мм. Індикатор відбивача, розташований на відстані 100 мм, в середині екрану, відповідає висоті кривої. При переході в область перегляду ТРЧ, коефіцієнт посилення на екрані змінюється зліва направо таким чином, що всі донні відбивачі в відкаліброваному діапазоні відповідають висоті опорної лінії.

Можливо генерувати кілька кривих DAC. На прикладі вище, найвища крива донний відбивач, інші криві розташовані на -6 дБ і -14 дБ відповідно нижче опорного рівня (формат ASTM III).

Контроль зварних швів

Зварювання - широко використовуваний метод отримання нероз'ємних з'єднань матеріалів шляхом плавки (місцевого нагріву і розплавлення кромки), а контроль якості зварних з'єднань металів - основна область застосування ультразвукової дефектоскопії. Існує кілька методів зварювання (рис. 1.11), включаючи електродуги, газове полум'я і лазер, але в ультразвукової дефектоскопії більшого значення відіграє геометрія зварного шва, ніж технологія зварювання. В даному розділі акцент зроблено на монтажні зварні шви, які зазвичай використовуються для з'єднання труб і металевих конструкцій.

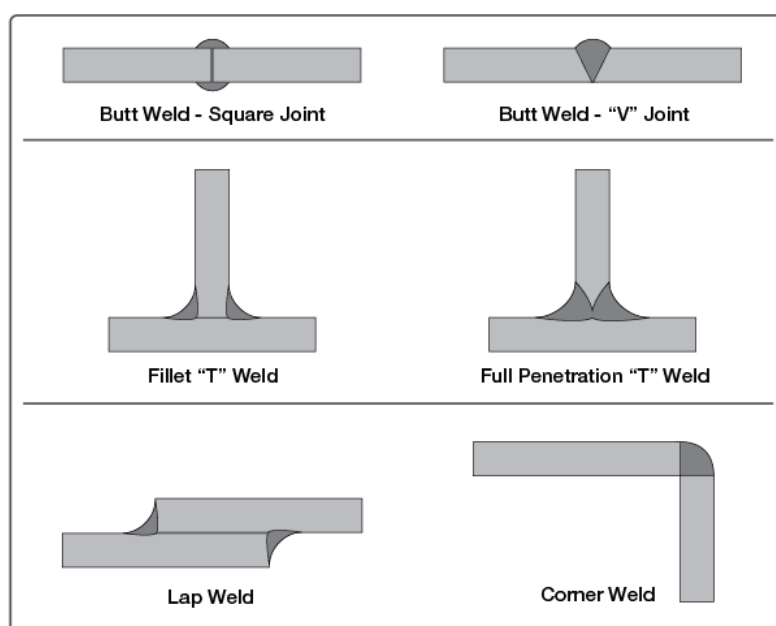


Рисунок 1.11 - Приклади зварних швів

Переваги та недоліки ультразвукового контролю

До головних переваг ультразвукового контролю якості металів і зварних з'єднань відносяться:

- висока точність і швидкість дослідження, а також його низька вартість;
- безпеку для людини (на відміну, наприклад, від рентгенівської дефектоскопії);
- висока мобільність внаслідок застосування портативних ультразвукових дефектоскопів;
- можливість проведення ультразвукового контролю (в окремих випадках) на діючому об'єкті, тобто на час проведення УЗК не потрібно виведення контрольованої деталі / об'єкта з експлуатації.
- при проведенні УЗК досліджуваній об'єкт не пошкоджується;

До основних недоліків УЗК відносяться:

- при ультразвукової дефектоскопії неможливо дати відповідь на питання про реальні розміри дефекту та неможливо однозначно охарактеризувати дефект (шлакове включення, пора, вольфрамовое включення і ін.);
- труднощі при ультразвуковому контролі металів з крупнозернистою структурою, через велику розсіювання і сильного загасання ультразвуку.
- підготовка поверхні контролю до контролю, для введення ультразвукових хвиль в метал, а саме: очищення поверхні контролю від забруднень
- необхідність нанесення на контрольований ділянку виробу після його зачистки безпосередньо перед виконанням контролю контактних рідин (спеціальні гелі, гліцерин, машинне масло, та ін.) для забезпечення стабільного акустичного контакту;

1.1.3 Тепловий контроль

Тепловий контроль відноситься до одного із способів неруйнівного контролю, що працює за принципом фіксації, перетворення променів інфрачервоного світла на видиме зображення. Тепловий неруйнівний

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			25

контроль (ТНК) використовується у всіх сферах промислового виробництва, де завдяки різноманітності теплового поля забезпечується перевірка технічних параметрів, що перевіряються.

Сьогодні, теплової контроль (ТК) набув найбільшого поширення в будівництві, теплоенергетиці, промисловості. До головній перевазі ТК відноситься: оперативність, точність, універсальність, висока продуктивність і здатність здійснювати дистанційне спостереження.

Види теплового контролю

Існують наступні види теплового контролю:

- перевірка теплопровідності;
- тепловезійна перевірка;
- температурне спостереження;
- перевірка щільності потоків тепла.

Також теплової контроль класифікується за способами на:

- активний;
- пасивний.

Вибір активного і пасивного способу дефектоскопії залежить від зовнішнього енергетичного джерела (наявності його або відсутності):

- пасивний теплової неруйнівного контролю не вимагає зовнішнього джерела тепла;
- активний же теплової контроль здійснюється при нагріванні предмета зовнішніми джерелами тепла.

Активний метод теплового контролю

Активний теплової неруйнівного контролю застосовується, в обставинах, коли в період експлуатації об'єкта не виділяється тепло, що забезпечує здійснення ТК. При активному способі ТНК, предмет нагрівається будь-яким зовнішнім джерелом. До типових предметів, які

піддаються активному тепловому контролю, можна віднести багатошарові композитні речовини, предмети мистецтва, інші конструкції, які вимагають зовнішнє тепловий вплив. Також використовується в:

- будівництві (пошук пустот, контроль теплопровідності будматеріалів);
- машинобудуванні (виявлення підповерхневих розшарувань, аналіз антикорозійного покриття, композитів);
- нафтохімічної галузі (контроль в резервуарах рівня рідини);
- енергетиці (дослідження захисних покриттів, статорів, термоізоляції);
- мікроелектроніці (томографія напівпровідників, контроль зварювання і пайки, дефекти в тепловідведення) і багато іншого.

Пасивний

Даний метод має на увазі, що створення поля в контрольованому устаткуванні або будівлі здійснюється за його виготовленні або експлуатації. Пасивний метод набув найбільшого поширення, забезпечуючи, практично, теплової неруйнівного контролю у всіх промислових галузях. Основною перевагою є забезпечення дослідження об'єктів під час експлуатації при відсутності здійснення додаткових операцій, що вимагають нагрівання предмета. Як типові предметів пасивного теплового неруйнівного контролю можна назвати будівельні конструкції, що працює електроапаратуру, контакти, експлуатовані під напругою та інші промислові об'єкти. Найбільш часто пасивний теплової контроль здійснюється тепловізорами, пірометрами, інфрачервоними термометрами, вимірювачами потоків тепла і логгер.

Пасивний контроль тепловізором

Застосовується практично у всіх галузях:

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

- транспорт (діагностика електричного обладнання рухомого складу, виявлення дефектних ділянок контактних мереж, перегріву боксів, ізоляторів);
- термоядерна енергетика (діагностика плазми, томографія);
- енергетика (дослідження димових труб, турбін, енергоагрегатів, теплоізоляції);
- медицина (термодіагностика онкології, судинних хвороб, шкірних захворювань);
- металургія (контроль гарячого прокату, діагностика футерування, визначення температури розплавів) і ін.

Прилади теплового контролю

В залежності від варіанту вимірювання нагріву перевіряються теплової контроль здійснюється за допомогою термочутливих елементів. Способи та прилади ТК можна розділити на 2 класи:

Контактні.

До таких приладів для контактного виміру температури в даний час, можна віднести: термопари, напівпровідникові і металеві опори, термокарандаші, термоіндикатори, термометри (рідинні і манометричні).

Безконтактні. Тут теплової контроль здійснюється наступними безконтактними приладами: тепловізорами, термографія, квантовими лічильниками, радіаційними пірометрами і ін.

Серед всіх приладів теплового контролю, найбільш популярними на сьогоднішній день є тепловізори. Обсяг перевірок способом ТК, здійснюваного тепловізорами, настільки величезний, що нерідко для простоти спілкування використовується термінологія тепловизионное спостереження.

Пірометр

Пірометри (рис.12) є інфрачервоні термометри, що забезпечують безконтактне вимірювання температури предметів. Принцип роботи приладу, побудований на вимірі потужності випромінювання тепла в інфрачервоному і видимому світлі. Тепловий неруйнівний контроль пірометрами використовуються, де неможливе застосування контактних термометрів. Дані прилади часто застосовуються при дистанційному ТНК розпечених предметів і в інших обставинах, коли неможливий теплової контроль з фізичним контактом спостережуваного об'єкта через недоступність або занадто великого нагріву.



Рис. 1.12 - Пірометри

Тепловізор

Тепловізор(рис. 1.13) є приладом, що забезпечує тепловою контроль температури контрольованої поверхні. Температурний спектр відображається на екрані приладу у вигляді кольорової картинки, в якій кожен колір спектра відповідає певній температурі. У більшості тепловізорів дані спостереження заносяться в пам'ять, з можливістю подальшої обробки на ПК при використанні спеціального ПО.



Рис. 1.13 - Тепловізор

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Тепловізори розрізняються на:

- Вимірювальні. Дана апаратура здатна привласнювати кожного пікселя цифрового сигналу, відповідне йому температурне значення, в результаті чого забезпечується теплової неруйнівного контролю поверхні.
- Спостережні. Ці пристрої відображають інфрачервону картинку об'єкта, що спостерігається.

На сьогоднішній день тепловізори використовуються, практично, в усіх варіантах, де по спектру тепла можна оцінювати технічні параметри спостережуваних предметів. Тепловізори забезпечують швидкий і надійний тепловий контроль з виявленням точок аномального нагріву, проблемних ділянок при технічному обслуговуванні в енергетиці, будівництві, виробництві та інших промислових галузях.

Логгер

Логгер даних призначені для вимірювання вологості, температури. Встановлюються при довгостроковому вимірі і виглядають у вигляді компактного пристрою з дисплеєм, вмонтованому в водонепроникний корпус, з наявністю карти пам'яті і здатністю програмування часу роботи. Сучасні моделі мають можливість підключення декількох зондів, проводячи теплової неруйнівного контролю одночасно в декількох будівлях. Дані логгерів піддаються аналізу з використанням спеціального ПЗ і є основою для формування звітів у вигляді графіка або таблиці.

Вимірювачі температури і щільності потоків тепла

Застосовуються на будівництві, при експлуатації приміщень для виміру щільності потоків тепла, що проходить через огорожувальні перепони відповідно до ГОСТ (ом) 25380. Обладнання забезпечує тепловою

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

неруйнівного контролю температури повітря всередині будівлі, зовні, а також заміряє термічний опір огорожувальних перешкод. Отримані результати ТНК відправляються на ПК, де автоматично обробляються і архівуються.

Контактні термометри

Крім названих електронних приладів, користуються великим попитом механічні пристрої ТНК, такі, як термокарандаші, самоклеючі етикетки, індикатори температур, тепловідвідними паста, високотемпературна фарба та ін.

1.2 Класифікація і застосування вихрострумових перетворювачів

По робочому положенню щодо об'єкту контролю перетворювачі ділять на прохідні, накладні і комбіновані. Накладні ВСП зазвичай є однією або декількома котушками, до торців яких підводиться поверхня об'єкту (рис. 1.14). Котушки таких перетворювачів можуть бути круглими коаксіальними (рис. 1, а), прямокутними (рис. 1.14, б), прямокутними хрестоподібними (рис. 14в), з взаємно перпендикулярними осями (рис. 1.14, г) і ін.

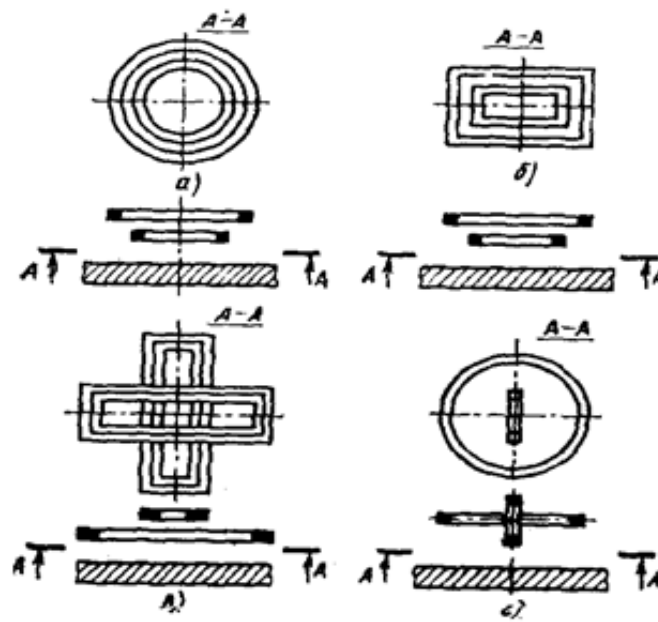


Рис.1.14 - Види перетворювачів

Накладні перетворювачі виконують з феромагнітними сердечниками або без них. Завдяки феромагнітному сердечникові (зазвичай феритовому) дещо підвищується абсолютна чутливість перетворювача і зменшується зона контролю за рахунок локалізації магнітного потоку. На рис. 1.15 приведені деякі типи перетворювачів з сердечниками. Тут $2R$ - еквівалентний геометричний параметр ВСП, що входить у формулу для визначення узагальненого параметра контролю β .

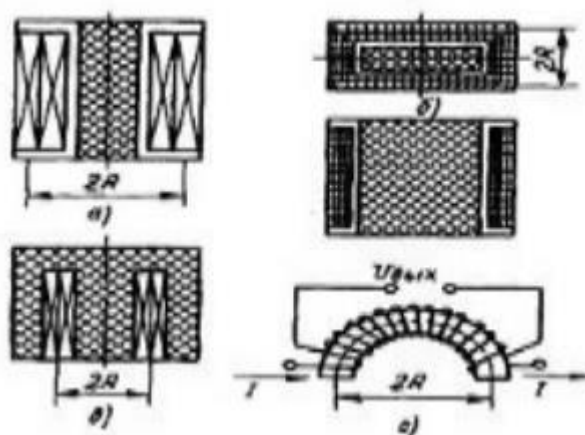


Рис. 1.15 - Накладні перетворювачі

Прохідні ВСП ділять на зовнішні, внутрішні, погрузні. Відмітна особливість прохідних ВСП в тому, що в процесі контролю вони проходять або зовні об'єкту, охоплюючи його (зовнішні, рис. 1.15, а-в), або усередині об'єкту (внутрішні, рис. 1.15, г, д), або занурюються в рідкий об'єкт (погрузні, рис. 1.15, е, ж). Зазвичай прохідні ВСП мають однорідне магнітне поле в зоні контролю, внаслідок чого радіальні зсуви однорідного об'єкту контролю не впливають на вихідний сигнал перетворювача. Для цього довжина L_v збудливої обмотки повинна бути не менше ніж в 3-4 рази перевищувати її діаметр D_v , а довжина L_i вимірювальної обмотки, розміщеної в середині збудливої обмотки, повинна бути значно менше довжини останньої. Однорідне поле отримують також, застосовуючи збуджуючу обмотку, виконану у вигляді кілець Гельмгольца і вимірюючу - у вигляді короткої котушки, причому $L_i \ll 2d$, $D_i \ll 2d$ (рис. 14, в)

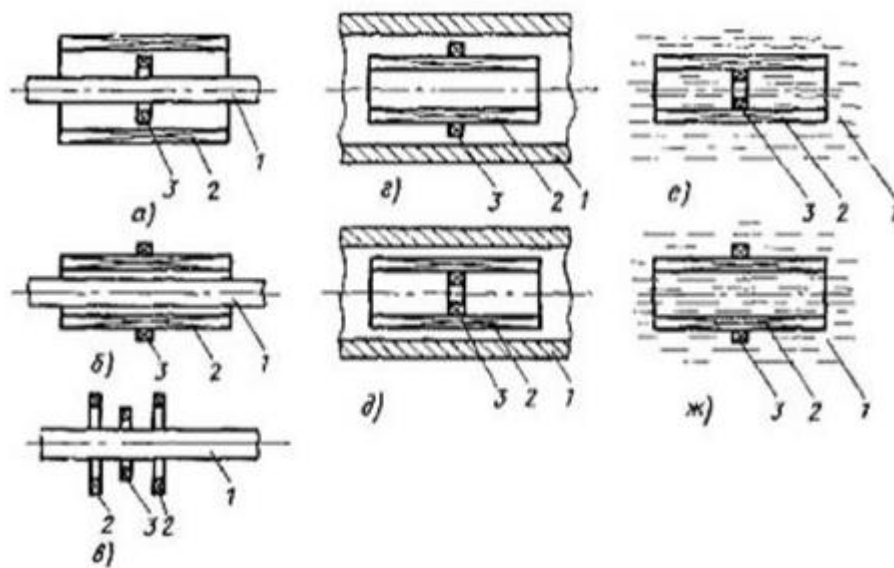


Рис. 1.16 - Ескіз прохідних ВСП

Комбіновані перетворювачі є комбінацією накладних і прохідних ВСП. На рис. 1.16. а показані деякі різновиди комбінованих ВСП. До них відносяться також ВСП у вигляді лінійно-протяжних витків або рамок, які можна умовно назвати лінійними (рис. 1.16, б)

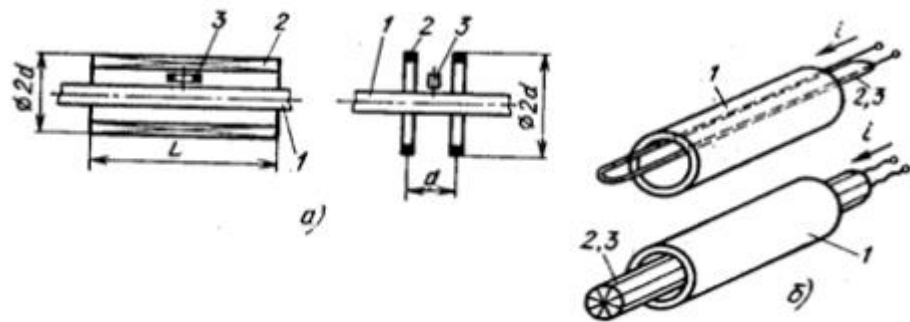


Рис. 1.17 - Комбіновані перетворювачі

Особливим різновидом є екранні ВСП, що відрізняються тим, що їх збуджуючі і вимірювальні обмотки розділені контрольованим об'єктом. Розрізняють накладні екранні ВСП (рис. 1.17 б) і прохідні екранні ВСП - відповідно перетворювачі першого і другого типів (рис. 1.17, в, в).

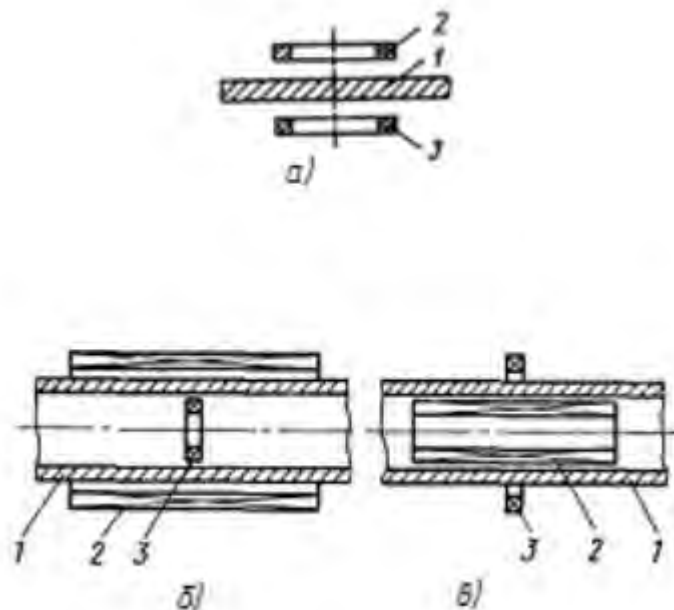


Рисунок 1.18 – Ескіз екраних ВСП

По виду перетворення параметрів об'єкту у вихідний сигнал перетворювача ВСП ділять на трансформаторні і параметричні. У трансформаторних ВСП, що мають як мінімум дві обмотки (збуджуючу і вимірюючу), параметри об'єкту контролю перетворюються в напругу вимірювальної обмотки, а в параметричних ВСП, що мають, як правило, одну

обмотку - в комплексний опір. Перевага параметричних ВСП полягає в їх простоті, а недолік, який в трансформаторних ВСП виражений значно слабкіше - в залежності вихідного сигналу від температури перетворювача. Залежно від способу з'єднання обмоток розрізняють абсолютні і диференціальні ВСП. Вихідний сигнал абсолютного ВСП визначається абсолютним значенням параметрів об'єкту, а диференціального - приростами цих параметрів. Вихідний сигнал диференціального ВСП залежить і від абсолютних значень параметрів об'єкту, але при малих приростах цих параметрів можна вважати, що він визначається тільки приростами.

Накладними ВСП контролюють в основному об'єкти з плоскими поверхнями і об'єкти складної форми. Ці перетворювачі застосовують також, коли потрібно забезпечити локальність і високу чутливість контролю. Зовнішніми прохідними ВСП контролюють лінійно-протяжні об'єкти (проволоку, прутки, труби і т. д.); застосовують їх і при масовому контролі дрібних виробів. Внутрішніми прохідними ВСП контролюють внутрішні поверхні труб, а також стінки отворів в різних деталях. Прокідні ВСП дають інтегральну оцінку контрольованих параметрів по периметру об'єкту, тому вони мають меншу чутливість до локальних варіацій його властивостей. Погружні ВСП застосовують для контролю рідких середовищ, екранні накладні - для контролю листів, фольги, тонких плівок, а екранні прохідні - для контролю труб. За допомогою диференціальних ВСП «самопорівняння» можна різко підвищити відношення сигнал/шум в дефектоскопії. При цьому обмотки перетворювача розміщують так, щоб їх сигнали виходили від близько розташованих ділянок контролю одного об'єкту. Це дозволяє зменшити вплив плавних змін електрофізичних і геометричних параметрів об'єктів. При використанні прохідних перетворювачів з однорідним магнітним полем в зоні контролю значно зменшується вплив радіальних переміщень об'єкту. Застосовуючи екранні накладні перетворювачі, можна практично виключити вплив зсувів об'єкту між збуджуючою і

вимірювальною обмотками. Перетворювачі з взаємно перпендикулярними осями обмоток нечутливі до зміни електрофізичних характеристик однорідних об'єктів. При порушенні однорідності об'єкту, наприклад при появі тріщин на виході такого перетворювача виникає сигнал. Аналогічно працюють і комбіновані перетворювачі. Вони також можуть бути застосовані для дефектоскопії. Їх недолік полягає в сильному впливі перекосів осей перетворювачів щодо поверхні об'єктів контролю. Щоб зменшити вплив краю об'єкту на сигнали ВСП, Використовують концентратори магнітного поля у вигляді феритових сердечників і електропровідні неферромагнітні екрани, що витісняють магнітне поле із зайнятої ними зони. При розміщенні екранів в торцях прохідних перетворювачів вплив країв об'єктів контролю зменшується, але при цьому погіршується однорідність поля в зоні контролю. Спеціальні екрани з отворами можуть служити «масками», при цьому отвір служить джерелом магнітного поля збуджуючого вихрові струми в об'єкті. При використанні «масок» значно знижується чутливість ВСП, але підвищується їх локальність. Підвищення локальності ВСП добиваються також комбінацією кільцевих феромагнітних сердечників з електропровідними неферромагнітними (зазвичай мідними) екранами і короткозамкнутими витками, що витісняють магнітний потік з сердечників в зону контролю. Кільцеві феритові сердечники служать також основою щілинних ВСП, вживаних для контролю дроту. Для ослаблення впливу радіальних переміщень об'єкту контролю на сигнали ВСП застосовують екранування магнітопровода поблизу щілини з метою підвищення однорідності магнітного поля в щілині.

Трансформаторні ВСП зазвичай включають по диференціальній схемі. При цьому можливі схема порівняння із стандартним зразком і схема «самопорівняння». У першому випадку робочий і зразковий ВСП не зв'язані індуктивно і мають незалежні вимірювальні і збуджуючі обмотки. У другому випадку збуджуюча обмотка часто служить загальною для двох вимірюючих.

При включенні ВСП по диференціальній схемі підвищується стабільність роботи приладу. Проте у ряді випадків вимірювальну обмотку включають послідовно з компенсатором, що є регулятором амплітуди і фази напруги. При цьому компенсатор виконує роль зразкового ВСП: коли робочий ВСП контролює стандартний зразок, то компенсатором встановлюється необхідна напруга компенсації. Така схема дозволяє усунути нестабільність, пов'язану з розігріванням стандартного зразка вихровими струмами. При використанні диференціальної схеми зазвичай не виключається застосування компенсатора, який в цьому випадку необхідний для компенсації напруги, викликаній не ідентичністю робочого і зразкового ВСП, і включається послідовно із зустрічно-включеними вимірювальними обмотками.

Компенсатори часто виконують у вигляді різноманітних фазорегуляторів і аттенюаторів - пасивних (RC- і LC-типів) і активних. Ефективні компенсатори у вигляді регуляторів дійсної і уявної складових вектора компенсуючої напруги. Параметричні ВСП включають в схему, що перетворює зміну їх комплексного опору в зміну амплітуди і фази (або частоти) напруги. При включенні параметричних ВСП в резонансні контури, а також в контури автогенераторів абсолютна чутливість пристрою підвищується. Часто параметричні ВСП включають в мостові ланцюги, де два плечі моста утворюються обмотками робочого і зразкового ВСП, а два інших - резисторами. Підбираючи параметри елементів моста, можна добитися зменшення впливу чинника, що заважає, на сигнали ВСП, а також високій чутливості до контрольованого параметра навіть при малій добротності котушки ВСП.



Рис. 1.19 - Годограф відносних вносимих напруг

1.3 Висновок на основі аналітичного огляду

На основі аналітичного про методи контролю можна зробити висновок, що найбільш цікавим та перспективним методом контролю є метод вищих гармонік, так як він дає змогу отримувати дані про властивості матеріалу за малий проміжок часу та на основі цих даних можливо помітити дефекти, якість виготовлення деталі та ін.

2 Складання технічного завдання

Метод контролю:

методі вищих гармонік

Основні параметри:

робоча частота - 100 Гц

діаметр ОК - до 5 мм.

клас точності $c/d=0.05/0.02$

тип ВСП – параметричний.

Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища $-10...40^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість 65% при температурі навколишнього середовища $20\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск 750 ± 30 мм.рт.ст.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

3 Розрахунок

3.1 Розрахунок перетворювача

Для початку розрахунків перетворювача необхідно задати крок намотки (h_1), діаметр дроту(d_d), діаметр(d_c) та матеріал сердечника, крок між сусідніми шарами обмотки(h_2), кількість шарів намотки (n).

Підбір внутрішнього діаметру котушки необхідно виконувати опираючись на діаметр ОК.

Вхідні дані:

$$h_2 = 0.09 \text{ мм},$$

$$h_1 = 0.09 \text{ мм},$$

$$d_d = 0.12 \text{ мм},$$

$$d_c = 5 \text{ мм},$$

$$n = 5,$$

Матеріал сердечника - повітря

Розрахуємо кількість витків на одному шарі та загальну кількість

$$\text{витків: } w = \frac{1}{h_2} \approx 11 - \text{кількість витків на одному шарі}$$

$$w_3 = w * n = 55 - \text{загальна кількість витків}$$

Наступним кроком є розрахунок середній радіус намотки, зовнішній радіус котушки та радіальна товщина:

$$r_{cp} = \frac{d_c}{2} + \left(\frac{d_d + h_1 * (n - 1)}{2} \right) \approx 2.74 * 10^{-3} \text{ м} - \text{середній радіус намотки}$$

$$r_n = \left(\frac{d_c}{2} + d_d \right) + h_1 * (n - 1)$$

$$\approx 2.98 * 10^{-3} \text{ м} - \text{зовнішній радіус котушки}$$

$$t_k = \frac{2r_H - d_c}{2} \approx 4.8 * 10^{-4} \text{ m} - \text{радіальна товщина котушки}$$

Для розрахунку індуктивності котушки необхідно розрахувати довжину котушки та її діаметр:

$$l = w * 2\pi * \sum_{i=1}^n \frac{d_c + d_d}{2} + h_1 * (i - 1) = 0.947 \text{ m} - \text{довжина дроту}$$

$$d_k = 2 * r_H \approx 6 * 10^{-3} \text{ m} - \text{діаметр котушки}$$

Індуктивність котушки дорівнює:

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{f=0}^{n-1} \sum_{k=1}^w \sum_{m=1}^w \int_0^\pi \mu_0 \frac{\left(\frac{d_c}{2} + \frac{d_d}{2} + h_1 * i\right) * \left(\frac{d_c}{2} + h_1 * f\right) * \cos(\varphi)}{\sqrt{h_2 * (m - k)^2 + \left(\frac{d_c}{2} + \frac{d_d}{2} + h_1 * i\right)}} \partial \varphi$$

$$\rightarrow \frac{+ \left(\frac{d_c}{2} + h_1 * f\right)^2 - 2 * \left(\frac{d_c}{2} + \frac{d_d}{2} + h_1 * i\right) * \left(\frac{d_c}{2} + h_1 * f\right) * \cos(\varphi)}{}$$

$$= 97 \text{ мкГн}$$

Де k та m – порядкові номери витків на шарі, i та f – порядкові номери шарів котушки, μ_0 - магнітна стала ($4\pi * 10^{-7} \text{ Гн/м}$)

Розрахуємо струм збудження:

$$I = \sqrt{\frac{100 * \pi * \left(l + \frac{d_k^2}{2} + d_c\right) + d_d^2}{2700 * d_k * w * 8}} \approx 2.1 * 10^{-6} \text{ A}$$

3.2 Розрахунок АЦП

Розрахунок АЦП є одним з найважливіших частин розробки пристрою. Оскільки комп'ютери обробляють лише цифрову інформацію, вони потребують цифрового введення. Тому, якщо аналоговий вхід надсилається на комп'ютер, необхідний аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Цей пристрій може приймати аналоговий сигнал, наприклад, електричний струм, і оцифровувати його в бінарний формат, який може зрозуміти комп'ютер.

Поширеним для АЦП є перетворення аналогового відео в цифровий формат. Наприклад, відео, записане на 8-мм плівці або касету VHS, зберігається в аналоговому форматі. Щоб передати відео на комп'ютер, відео потрібно перетворити на цифровий формат. Це можна зробити за допомогою перетворювача відеосигналу ADC, який, як правило, має вхідні відеосигнали та вихід Firewire. Деякі цифрові відеокамери, які мають аналогові входи, також можуть використовуватися для перетворення відео з аналогового на цифровий.

АЦП також можуть використовуватися для перетворення аналогових аудіопотоків. Наприклад, якщо потрібно записати звуки з мікрофона, аудіосигнал повинен бути перетворений з аналогового сигналу мікрофона в цифровий сигнал, який може зрозуміти комп'ютер. Ось чому всі звукові карти, які мають аналоговий аудіовхід, також вимагають АЦП, який перетворює вхідний аудіосигнал в цифровий формат. Точність перетворення звуку залежить від частоти дискретизації, що використовується в процесі перетворення. Більш високі частоти дискретизації забезпечують кращу оцінку аналогового сигналу, і тому виробляють більш якісний звук.

Хоча АЦП перетворюють аналогові входи в цифровий формат, який можуть розпізнати комп'ютери, іноді комп'ютер повинен виводити аналоговий сигнал. Для цього типу перетворення використовується цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Для розрахунку АЦП необхідно визначитись з класом точності,

$$\frac{c}{d} = \frac{0,05}{0,02}$$

Наступним кроком є розрахунок кількості зарядів або розрядність АЦП

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{c}{100} \right\rceil = 11$$

Розрахуємо частоту дискретизації. Для здійснення незалежності результатів перетворення від не ідеальності апаратури, вводиться коефіцієнт запасу.

$$K_3 = 1.85$$

$$f_d = 2 * K_3 * f_b$$

Де f_b – верхня частота обмеженого спектра вхідного сигналу.

$$f_d = 740 \text{ Гц}$$

Звідси можна розрахувати час циклу дискретизації:

$$t_d = \frac{1}{f_d} = 1.351 * 10^{-3} \text{ с}$$

3.3 Розрахунок похибок

Для даного приладу буде достатньо розрахувати середньоквадратичну похибку.

Розрахунок похибки АЦП:

$$\sigma_A = \frac{\Delta}{U_H} * 100\% = \frac{U_H}{2^{12} * U_H} * 100\% = \frac{1}{2^{12}} * 100\% = 0.024\%$$

Похибка від генератора напруги: $\sigma_\Gamma = 0.001\%$

Похибка від операційного підсилювача: $\sigma_{ОП} = 0,01\%$

Похибка від вимірювального підсилювача: $\sigma_{ВП} = 0,01\%$

Похибка фазового детектора: $\sigma_\Phi = 0,6\%$

Похибка АЦП: $\sigma_A = 0.024\%$

Середньоквадратична похибка дорівнює: $\sigma = \sqrt{\sigma_\Gamma^2 + \sigma_{ОП}^2 + \sigma_\Phi^2 + \sigma_A^2} = 0,601\%$

4. Підбір компонентів

На основі розрахунків та структурної схеми можна виконати підбір компонентів.

Всі необхідні розрахунки та перетворення можна виконати на основі мікроконтролера STM32F030X4

Для генерації сигналів та керуванням запису інформації можна використати ЦАП AD9708.

Для передачі та відображення даних на ПК та інших сумісних пристроях можна використати USB модуль CP2102.

Для підсилювача сигналу було обрано AD605.

Огляд та їх конфігурація

STM32F030X4

Мікроконтролери STM32F030x4 / 6/8 / C включають високопродуктивні ARM®

Cortex®-M0 32-бітне ядро, RISC, що працює на частоті 48 МГц, високошвидкісний вбудований

Пам'ять (до 256 Кбайт флеш-пам'яті і до 32 Кбайт SRAM), і

Широкий спектр вдосконалених периферійних пристроїв і входів / виходів. Всі пристрої пропонують стандарт

Інтерфейси зв'язку (до двох I2C, до двох SPI і до шести USART), один 12-бітний

АЦП, сім 16-розрядних таймерів загального призначення та ШІМ-таймер з вдосконаленим контролем.

Мікроконтролери STM32F030x4 / 6/8 / C працюють в діапазоні температур від -40 до +85 ° C

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Джерело живлення від 2,4 до 3,6 В. Широкий набір режимів енергозбереження дозволяє в проектуванні малопотужних додатків.

Мікроконтролери STM32F030x4 / 6/8 / С включають пристрої в чотирьох різних пакетах від 20 контактів до 64 контактів(рис. 4.1). Залежно від обраного пристрою різні набори

Периферійні пристрої включені.

Ці функції роблять мікроконтролери STM32F030x4 / 6/8 / С придатними для широкого діапазону застосунку, такі як керування додатками та інтерфейси користувача, портативне обладнання, А / V приймачі та цифрове телебачення, периферійні пристрої для ПК, ігрові та GPS-платформи, промислові додатки, ПЛК, інвертори, принтери, сканери, системи сигналізації, відеодомофони та HVAC.

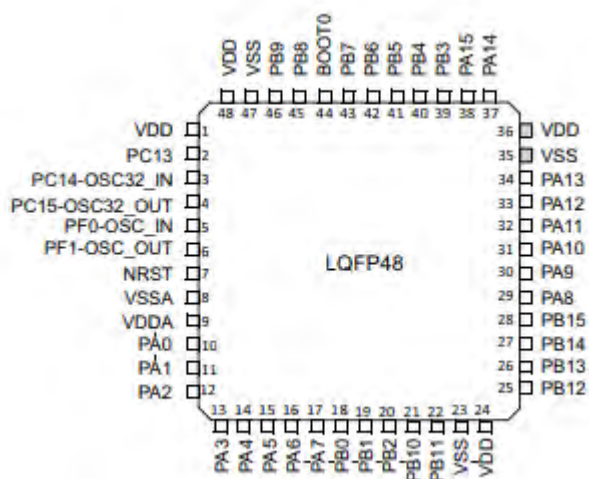


Рис. 4.1 - STM32F030x вигляд зверху

AD9708

AD9708 є 8 бітним ЦАПом. Серія високопродуктивних, малопотужних КМОП цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП). Сім'я TxDAC, яка складається з штифта сумісні 8-, 10-, 12- і 14-бітові ЦАП, були спеціально оптимізовані для тракту передачі сигналів систем зв'язку. Все пристроїв мають однакові параметри інтерфейсу, невеликий контур пакет і

розпізнавання, таким чином забезпечуючи вгору або вниз шлях вибору компонентів на основі

продуктивності, дозволу і вартість. AD9708 пропонує виняткову продуктивність ас і dc одночасно підтримуючи оновлення до 125 MSPS.

Гнучкий робочий діапазон AD9708 від +2,7 В до +5,5 В і низька потужність розсіювання добре підходять для портативних і мало-потужних пристроях.

Розсіювання потужності може бути додатково зменшено до 45 мВт, без істотної деградації в продуктивності, знижуючи повномасштабний поточний вихід. Крім того, режим зниження потужності зменшує розсіювання потужності в режимі очікування приблизно до 20 мВт.

AD9708 виготовляється на передових технологіях CMOS.

Архітектура сегментованого поточного джерела поєднується з власними технологіями перемикання для зменшення паразитних компонентів і підвищення динамічних показників. Засувки, що спрацьовують по краях і вбудований температурно-компенсаційний зазор, який забезпечує повне монолітне рішення ЦАП.

Гнучкі варіанти живлення підтримують сімейства CMOS +3 V і +5 V.

Вихідний струм 20 мА і > 100 кОм вихідний опір.

TxDAC є зареєстрованою торговою маркою Analog Devices, Inc.

Диференціальні виходи струму надаються для підтримки односторонніх або диференціальних застосувань. Поточні виходи можуть бути безпосередньо підключені до вихідного резистора, щоб забезпечити дві додаткових вихідних напруги.

AD9708 містить довідкову та довідкову посилання на 1,2 В

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Управління підсилювачем, що дозволяє здійснювати повномасштабний вихідний струм просто встановлюється одним резистором. За допомогою AD9708 можна керувати опорною напругою.

Струм можна регулювати в діапазоні від 2 мА до 20 мА без будь-якої деградації в динамічних характеристиках. Таким чином, AD9708 може працювати на знижених рівнях потужності або регулюватися за 20 дБ діапазон, щоб забезпечити додаткові можливості розширення посилення.

Модель AD9708 доступна в SOIC з 28 проводами та TSSOP з 28 пінами (див. рис. 4.2). Призначення якої є робота в промисловому діапазоні температур.

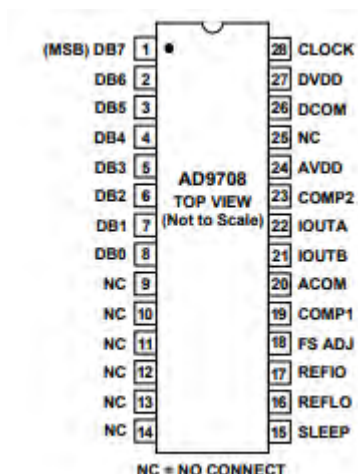


Рис. 4.2 - Конфігурація пінів AD9708

AD605

AD605 - це низький рівень шуму, точний, двоканальний, лінійний підсилювач змінного посилення (VGA), оптимізований для будь-якого застосування яке вимагає високої продуктивності, широкої пропускну здатності.

AD605 працює з одним 5-вольтовим джерелом живлення диференціальні входи і уніполярний регулятор посилення для зручності використання.

Масштабування посилення (dB / V).

Висока продуктивність лінійного в-дБ хараектеристики AD605 досягається з диференціальним входом, однозаходним, експоненціальним підсилювачем (DSX-AMP). Кожен з DSX-AMP містить змінний аттенюатор з 0 дБ до -48,4 дБ, за яким слідує високошвидкісний підсилювач з фіксованим посиленням.

Затухання між краном 6,908 дБ і 48,360 дБ для всієї мережі.

Архітектура DSX-AMP призводить до вхідного шуму 1,8 нВ / ГГц спектральна щільність і приймає вхідний сигнал $\pm 2,0$ В при VOCM є упередженням у VP / 2.

Кожен незалежний канал AD605 забезпечує діапазон посилення 48 дБ, які можуть бути оптимізовані для програми. Посилення діапазонів може бути вибрано від -14 дБ до +34 дБ і від 0 дБ до +48 дБ одним резистором між піном FBK і піном OUT. Нижчий і верхній діапазон посилення визначаються замиканням пін FBK до піна OUT або залишивши пін FBK незв'язаними, відповідно.

Два канали AD605 можуть бути каскадними для забезпечення 96 дБ, дуже точного діапазону посилення в монолітному пакеті.

Інтерфейс керування посиленням забезпечує вхідний опір приблизно 2 МО і масштабні коефіцієнти від 20 дБ / В до 30 дБ / В для вхідної напруги VREF від 2,5 В до 1,67 В відповідно.

Посилення масштабує лінійно в з керуючими напругами (VGN) від 0,4 В до 2,4 В для 20 дБ / В шкалою і 0,20 В до 1,20 В для масштабу 40 дБ / В. Коли VGN <50 мВ, підсилювач відключається для подачі 1,9 мА.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

AD605 доступний у 16-полюсному PDIP і 16-контактному(див. рис. 4.21) SOIC_N упаковці і гарантується для експлуатації при температурі від - 40 ° C до + 85 ° C

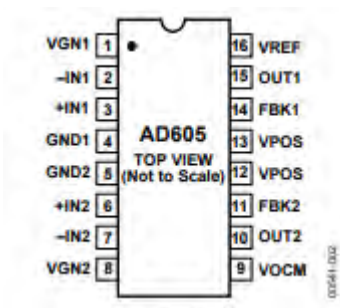


Рисунок 4.3 - Конфігація пінів AD605

5. Експериментальні дані

Для збору експериментальних даних було розроблено систему на основі розрахунків в ПЗ “COMSOL”.

В ході симуляції було використано парамагнетик. В якості середовища було обрано повітря. Зібрану систему можна побачити на рис 5.1.

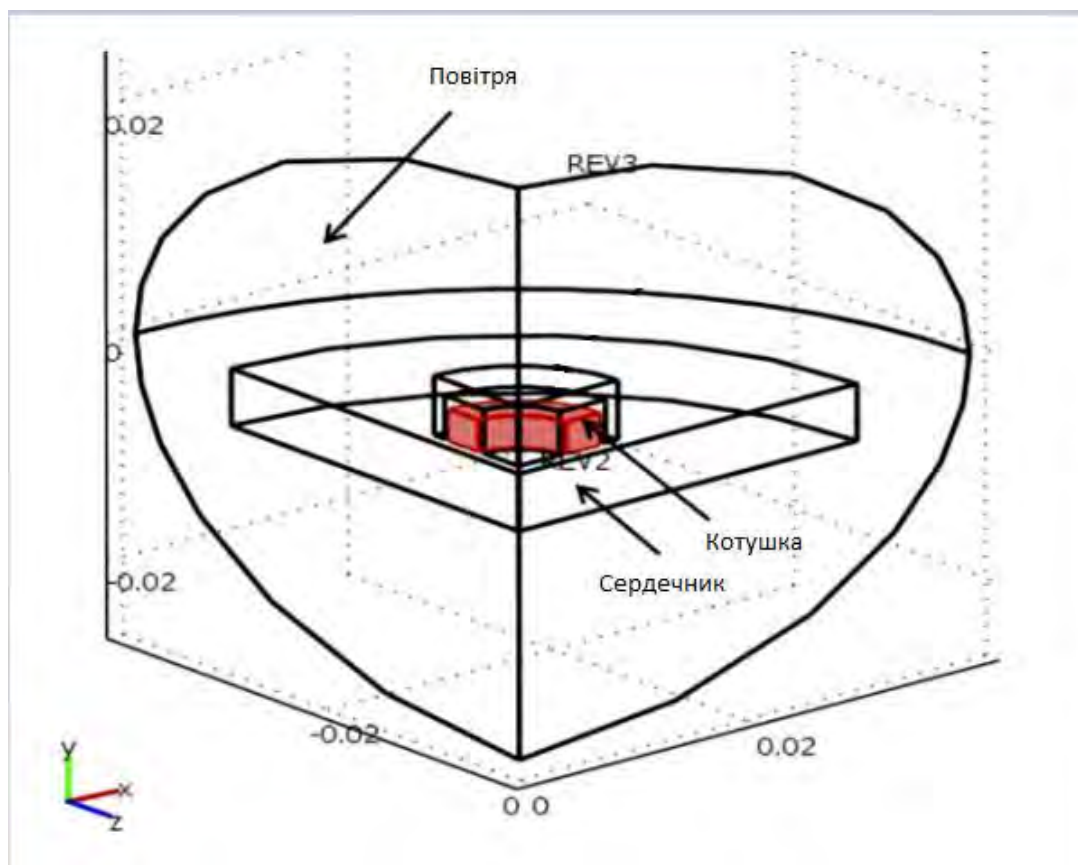


Рисунок 5.1 - Система в ПЗ «Comsol»

1. Зразок був встановлений як сталь. Часовий крок і часовий період для перехідного розв'язувача було встановлено 2 с і 2,5 мс відповідно. Спочатку магнітну проникність зразка встановлювали як 60, а зазор на 0,5 мм разом з початковою електропровідністю $4,68 \times 10^6$ См / м. Потім змінювалася електропровідність від $1,872 \times 10^6$ См / м (40%) до $7,488 \times 10^6$ См / м (160%). На рис. 19 показаний модельний прогнозований магнітний спектр при різній магнітній проникності

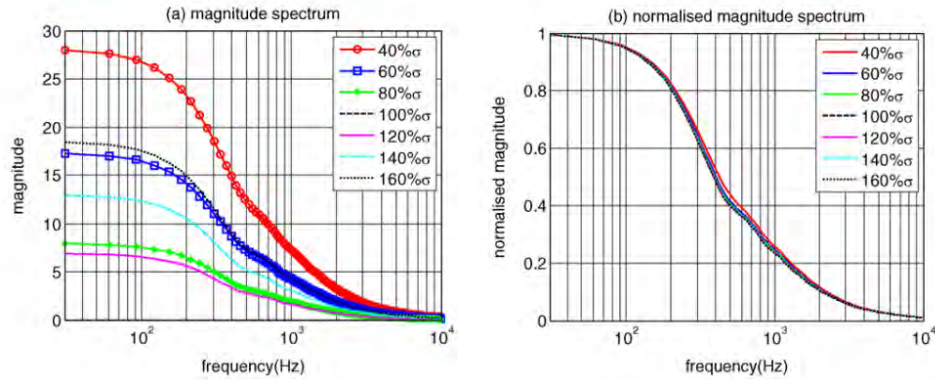


Рис. 5.2 - Отримані значення в ході моделювання

2. Електропровідність підтримувалася постійною на рівні $4,68 \times 10^6$ См / м, встановлена на 0,5 мм, а початкова магнітна проникність встановлювалася на 60. Потім магнітна проникність змінювалася від 3 (5% від початкового значення) до 96 (160% від початкового значення)

На рис. 5.3 показана модель прогнозованого амплітудний спектр і нормалізований магнітний спектр

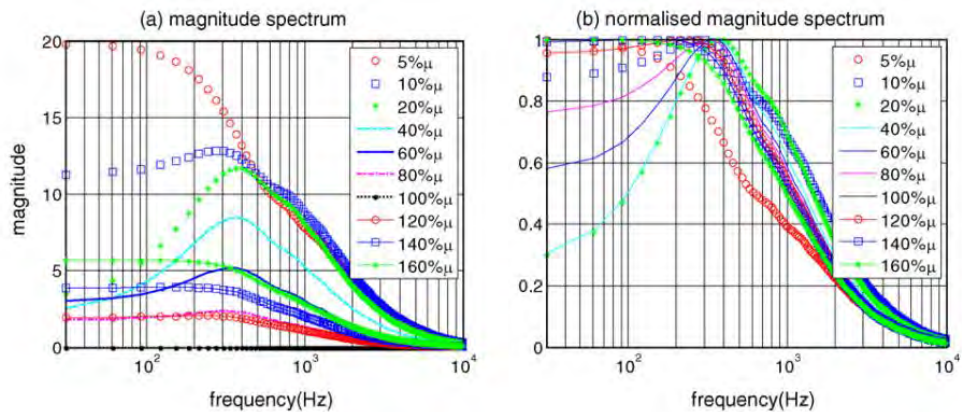


Рис. 5.3 - Отримані дані при 2 етапі моделювання

6. Розробка плати для пристрою

Створення плати пристрої є одним з основних етапів проектування та розробки приладу. Сучасним та найбільш поширеним варіантом розробки плати є програмне забезпечення “Altium Designer”.

Це один з трьох популярних професійних САПР, які дозволяють розробляти електроніку практично будь-якої складності.

Перевагами Altium Designer є:

- Відмінний дизайн і продуманий інтерфейс даної програми просто поза конкуренцією. Досить подивитися на конкурентів і все стає ясно. Так, дизайн і зручність це важливо, коли ти проводиш за роботою по кілька годин щодня. Так само це полегшує процес навчання новачків, адже вчитися в зрозумілому і логічному САПР набагато простіше;

- Можливість безпосередньо працювати з таким механічним «титаном» як SolidWorks. Ми можемо просто відкрити плату з AD в SOLID і додати її як частину збірці без втрати якості.

- Наявність досить великої кількості інформації, що забезпечує досить низький поріг входження.

- Зручне керування компонентами

Використовувати «Variants» в Altium Designer, можна досить часто. «Dashboard» має багато разів більше, ніж один варіант - плата з різними розмірами пам'яті, різним діапазоном входних напруг, різними налаштуваннями резисторів. Просто генерація всієї виробничої інформації для всіх цих варіантів займає багато часу (специфікації для придбання, специфікації для виготовлення, складальні креслення, схеми,...), а потім... необхідно зробити апаратне зміна і знову генерувати всю інформацію... і знову. У Altium Designer, коли все налаштовано правильно, потрібно лише кілька кліків. Дізнайтеся більше про використання менеджера варіантів тут або дізнайтеся, як тут створити корисні креслення.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

– Відмінний схематичний браузер

Ви завжди хочете бути впевненими, що схема правильна. Ніхто не хоче мати замінені сигнали прийому і передачі, два виходи / входи з'єднані навпроти один одного, використовуючи неправильну силову рейку, забудьте підняти вниз резистори. Altium Designer забезпечує відмінний схематичний браузер, який дозволяє легко перевірити з'єднання для КОЖНОГО PIN-коду у вашій схемі.

– 3D візуалізація і висновок

3D-особливість Altium Designer настільки проста, щоб її можна було використовувати. Всі люблять 3D візуалізацію. Вони можуть побачити продукт тижнів або місяців до того, як він фізично опиниться на їхньому столі. Я використовую візуалізацію для перевірки розміщення компонентів, і це особливо корисно, коли плата розробляється для більшої системи.

– Підтримка

Це дуже відоме програмне забезпечення, яке використовується широкою спільнотою. Сторінки довідки Altium Designer добре написані і заощаджують багато часу. Зазвичай для пошуку та використання нової функції займе не більше 5 хвилин.

Висновок

У даній роботі було досліджено різні методи неруйнівного контролю, на основі яких було обрано метод вищих гармонік для виміру параметрів феромагнетиків.

Під час виконання роботи було розроблено структурну та функціональну схеми для приладу. Під час створення принципіальної схеми було розраховано АЦП та ВСП для необхідних ОК згідно ТЗ.

Аналіз методу та реалізація приладу показало, що метод гармонік є перспективним для структуроскопії та НК в загалом, так як за допомогою цього методу можна отримати багато інформації про ОК, таку як його склад, товщину, температуру відпуску та ін.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Список використаних джерел

1. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ», 2010 – 448 с
2. Магнітні методи контролю і діагностики: Підручник/ І.І. Толмачев – К.:ТПІ, 2008 – 216 с
3. Капілярний метод контролю [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.zaopkti.spb.ru/services07_48.html.
4. Вихрострумовий метод контролю [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Неруйнівний_контроль.
5. Магнітопорошковий метод контролю [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrefs.com.ua/92414-Magnitoporoshkoviy-metod-kontrolya.html>.
6. Петін С. В., Сидоренко В. Г. Огляд методів дефектоскопії при обстеженні трубопроводів [Електронний ресурс] // Молодий вчений. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://moluch.ru/archive/106/25262/>. (дата звернення: 14.05.2019)
7. Дефектація деталей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studref.com/380169/tehnika/defektatsiya_detaley.
8. Парамагнетики. Магнітні властивості речовини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2Zrvoe1>.
9. Засоби магнітного контролю [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/6755841/page:8/>.
10. Лисенко Ю. Ю. Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумовому контролі. / Ю. В. Куц, О. Л. Дугін, А. Г. Протасов /Вісник ВПІ „КПІ”, серія Приладобудування.- 2016.-№ 51(1). - С. 58-63.

11. Kuts I.V. Pulsed Eddy Current Non-Destructive Testing of the Coating Thickness // A.G.Protasov, I.I. Lysenko, O.L. Dugin // The e-Journal of Nondestructive Testing: XI European Conference on Non Destructive Testing. 2014

12. Магнітні властивості речовини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2IajHlX>.

					ПК51.070000.000 ПЗ	ст
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис			

Додатки

Технічне завдання

1. Найменування приладу.

„Вимірювач параметрів феромагнітних матеріалів”.

2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.

Розробка приладу для вимірювання параметрів феромагнітних матеріалів

3. Передумови для розробки приладу.

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ”.

4. Вимоги до технічних характеристик.

Основні параметри:

- чГармоніки вихідного сигналу 5,7,9;
- Тип перетворювача параметричний;
- Границя допустимої основної похибки – не більше 2%;

5. Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища -10...40°C;
- відносна вологість 65% при температурі навколишнього середовища 20±5°C;
- атмосферний тиск 750±30 мм.рт.ст.

6. Вимоги до конструкції приладу.

Система повинна зберігати працездатність й свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

6.1. Конструкція системи повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

6.2. Система повинна мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:

6.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування системою;

6.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження системи або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу системи або на задній малодоступній панелі.

6.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування системи повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби системи.

7. Техніко-економічні вимоги.

7.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.

7.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка системи повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

8. Вимоги до упаковки.

8.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.

8.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику:

Простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

9. Стандартизація та уніфікація.

До системи повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

10. Вимоги до техніки безпеки.

10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування системи повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

10.2. Середній час без відмовлень роботи системи, повинен бути не менше 500 год.

11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.

- 11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.
- 11.2. Строк служби 5 років.
- 11.3. Технічний ресурс 1000 год.